

## PEMODELAN PERPINDAHAN PANAS (*HEAT TRANSFER*) BETON SILINDER PADA SAAT TERBAKAR

Dyna Aulia R<sup>1</sup>), Alfian Kamaldi<sup>2</sup>), Reni Suryanita<sup>2</sup>)

<sup>1</sup>)Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

<sup>2</sup>)Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode 28293

Email : [dyna.aulia@student.unri.ac.id](mailto:dyna.aulia@student.unri.ac.id)

### ABSTRACT

*Fire hazard can bring serious problems to reinforced concrete buildings. At combustion temperatures, heat from the fire propagates from the surface into the core of the concrete. This study aims to model the heat transfer on concrete and the results were compared to numerical method proposed by Wickstrom (1987). The specimen used in this study was a concrete cylinder with the diameter of 150 mm and the height of 300 mm. The specimen was exposed to a combustion temperature of 800°C with the combustion duration of 3 hours. The model carried out in the LUSAS v.16 program. Measurements were made at the distance of 19, 38, 56, and 75 mm from the perimeter of cylinder. The results of the study showed the difference in temperature increase using 2D, 3D, and Wickstrom model. For comparison between Wickstrom and 2D at a depth of 19 mm is 15.96%, for 38 mm is 43.57%, for 56 mm is 66.95%, and for a distance is 75 mm of 89.93%. Moreover, the results gained from 2D finite element analysis was 2,05% higher than 3D finite element analysis. The greater the depth of the review, the results between model and Wickstrom method will be much different. The average value of these results can be used as a reference value of the temperature increase at the point of review at a certain distance from perimeter of cylindrical concrete model under high temperatures.*

*Key words: heat transfer, thermal conductivity, specific heat , LUSAS v.16, Wickstrom method.*

### A. PENDAHULUAN

Kebakaran adalah peristiwa oksidasi dari material yang berlangsung cepat, serta menghasilkan panas dan cahaya. Timbulnya kebakaran ditandai dengan penjararan akibat suatu material terkena sumber panas. Pancaran panas akan sangat potensial, jika suhu sumber panas relatif tinggi. Perubahan temperatur yang cukup tinggi dapat menyebabkan terjadinya perubahan sifat beton. Efek utama dari perubahan beton dalam hubungannya dengan sifat muai *thermal* adalah *spalling* (rontok) dan kehilangan kekuatan. Melihat besarnya dampak kerusakan yang

diakibatkan pengaruh temperatur tinggi dari pembakaran dan lamanya beton terbakar, maka struktur beton memerlukan peninjauan kelayakan apabila telah mengalami kebakaran. Hal ini dimaksudkan agar dapat memastikan struktur tersebut masih layak untuk digunakan atau seberapa tahan struktur itu mampu memikul beban kembali sehingga dapat dilakukan tindakan lanjutan.

Pada penelitian terdahulu dilakukan pengujian ketahanan beton dengan mengabaikan proses penjararan panas yang terjadi. Hal ini dikarenakan beton merupakan penghantar panas yang buruk dan menganggap bagian dalam beton masih

dingin. Namun disini peneliti akan memperhitungkan penjalaran panas pada beton walaupun daya hantar panasnya rendah, kerana kerusakan yang diakibatkan tidak hanya diukur dari kegagalan strukturnya saja, seperti menganggap retak-retak pada permukaan beton dan bagian inti beton masih dalam suhu ruangan.

Oleh sebab itu, perlu dilakukan pengujian, baik itu eksperimental di laboratorium maupun secara ilmiah dengan menggunakan metode penaksiran analisis secara komputasi menggunakan *software*. Hasil analisis yang ditinjau diharapkan mampu memprediksi ketahanan api dalam proses perpindahan panas struktur beton pada saat terbakar serta mengupayakan perbaikan jika memungkinkan.

## B. TINJAUAN PUSTAKA

### B.1 Beton

Beton merupakan bahan bangunan yang memiliki daya tahan terhadap api yang relatif lebih baik dibandingkan dengan material lain seperti baja, terlebih lagi kayu. Hal ini disebabkan karena beton merupakan material dengan daya hantar panas yang rendah, sehingga dapat menghalangi rembetan panas ke bagian dalam beton tersebut. Kekuatan beton yang mengalami kebakaran akan dipengaruhi oleh perubahan temperatur dan lama pemanasan (Jian-Zhuang Xiao, 2008)

### B.2 Sifat Beton Pada Temperatur Tinggi

Berdasarkan hasil penelitian Suhendro (2000), beton yang dibakar sampai pada suhu 600°C, beton mengalami penurunan kapasitas lentur sebesar 23%. Penurunan ini disebabkan karena terjadinya proses dekomposisi unsur C-S-H yang terurai menjadi kapur bebas CaO, SiO<sub>2</sub>, dan uap air (H<sub>2</sub>O). Karena unsur C-S-H merupakan unsur utama yang menopang kekuatan beton, maka pengurangan C-S-H yang jumlahnya cukup banyak akan sangat mengurangi kekuatan beton. Oleh karena

itu temperatur yang lebih tinggi antara 500°C sampai dengan 1000°C akan terjadi proses karbonisasi dimana terbentuknya *Calcium Carbonat* (CaCO<sub>3</sub>) yang berwarna keputih-putihan sehingga merubah warna permukaan beton menjadi lebih terang. Pada temperatur ini terjadi penurunan lekatan antara batuan dan pasta semen, yang ditandai oleh retak-retak dan kerapuhan beton.

#### B.2.1 Sifat *thermal conductivity* ( $\lambda c$ ) pada beton

Konduktivitas termal menyatakan kemampuan bahan mengantarkan kalor. Untuk beton normal nilai *thermal conductivity* cenderung mengalami penurunan seiring dengan pertambahan temperatur (Intansari, 2009).

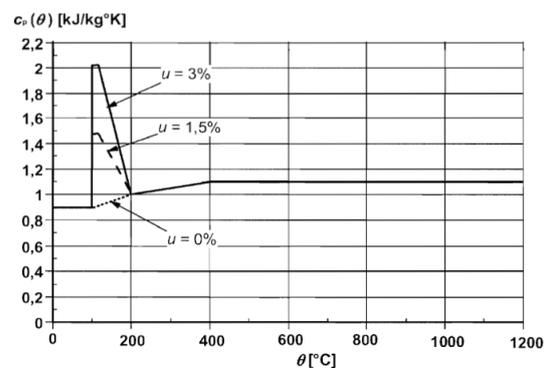
*Thermal conductivity* pada beton adalah fungsi temperatur yang dapat dinyatakan dengan persamaan

$$\lambda c = 2 - 0.24 \frac{T}{120} + 0.012 \left( \frac{T}{120} \right)^2 \quad (1)$$

dengan  $\lambda c$  adalah *Thermal conductivity* dan T adalah temperatur.

#### B.2.2 Sifat *specific heat* ( $c_c$ ) pada beton

*Specific heat* dari material merupakan karakteristik yang menggambarkan jumlah masuknya panas yang dibutuhkan untuk menaikkan satuan suhu derajat celcius. Nilai *specific heat* dinyatakan pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1 Grafik Hubungan Temperatur dan *Specific Heat* Pada Beton (ENV 1992-1-2, 2004)

### B.2.3 Sifat *thermal diffusivity* (a)

Penyebaran panas (*Thermal diffusivity*) merupakan ukuran dari inersia termal atau luasan perubahan temperatur yang dapat terjadi pada beton. Hubungan antara *thermal conductivity*, *specific heat*, dan *thermal diffusivity* yaitu :

$$a = \frac{\lambda c}{\rho c_c} \quad (6)$$

dengan  $a$  adalah *thermal diffusivity*,  $\lambda c$  adalah *thermal conductivity*,  $\rho$  adalah berat jenis,  $c_c$  adalah *Specific heat*.

EN 1992-1-2 menyarankan penggunaan perubahan berat jenis akibat peningkatan suhu dalam melakukan perhitungan *thermal*.

### B.3 Perpindahan panas (*Heat Transfer*)

Analisis transfer panas pada umumnya untuk menganalisis elemen padat, cair, dan gas. Panas yang ditransfer dari satu titik ke titik lain melalui salah satu dari tiga metode yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Dalam analisis metode elemen hingga digunakan *mesh* untuk memudahkan perhitungan temperatur untuk menghitung titik-titik temperatur.

### B.4 *Finite Element Method* (FEM)

*Finite Element Method* (FEM) atau metode elemen hingga adalah salah satu dari metode numerik yang memanfaatkan operasi matriks untuk menyelesaikan masalah – masalah fisik.

Metode pelaksanaan analisis sebuah struktur dengan metode elemen hingga secara garis besar dapat dibagi menjadi seperti berikut :

1. Membagi struktur menjadi elemen – elemen hingga (diskretisasi).
2. Menyusun formulasi sifat atau propertis dari masing-masing elemen.
3. Menggabungkan elemen – elemen hingga dan formulasinya menjadi elemen utuh/ elemen dari struktur.
4. Memberikan beban sesuai rencana.

5. Menentukan kondisi batas (tergantung dari tipe tumpuan struktur).
6. Menyelesaikan persamaan yang terbentuk

### B.5 LUSAS v.16

LUSAS v.16 adalah salah satu program elemen hingga (*Finite Element Analysis*). Program ini digunakan untuk semua analisis sipil dan struktural termasuk konstruksi bertahap, nonlinier, prategang, *creep*, *post tensioning*, seismic, ledakan, tekuk, dampak, api dan analisis kelelahan.

Dalam program LUSAS terdapat beberapa jenis analisis yang dapat digunakan, salah satunya yaitu analisis termal. Analisis termal ini lebih memfokuskan pengaruh suhu dan mengabaikan beban-beban lain. Pengaruh suhu tersebut seperti *thermal conductivity*, *specific heat*, dan massa jenis. Hasil yang didapatkan dalam analisis termal ini berupa transfer panas, dan panas permukaan.

### B.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan Faizal (2015), kondisi hasil evaluasi struktur tiap lantai secara visual struktur balok , plat, kolom di lokasi Gedung Ruko Pasar Sentral pasca bakar, adanya perubahan warna, deformasi, terjadinya *spalling* dan *cracking*, dan penampakan tulangan hingga ke permukaan akibat suhu tinggi yang terjadi.

Hasan, A (2013), menyatakan jenis logam tembaga yang dapat dileburkan dengan titik lebur 1000 °C akan melebur pada suhu 962 °C. Pada pengamatan kebakaran ruko pasar sentral Makassar dapat dilihat material tembaga yang meleleh.

## C. METODOLOGI PENELITIAN

### C.1 Preliminary

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data penelitian terdahulu yaitu studi kasus evaluasi kondisi existing gedung ruko pasar sentral Makassar pasca bakar Faizal (2015). Pemodelan yang akan

digunakan sebagai bahan skripsi ini menggunakan silinder beton standar yang dianalisis pada saat terbakar. Analisis pemodelan dilakukan dengan menggunakan bantuan program komputer berbasis elemen hingga untuk mempercepat perhitungan.

## C.2 Data-Data Perencanaan

Data perencanaan untuk pemodelan numerik 2D dan 3D ini meliputi beberapa bagian, antara lain data material, geometri dan pembebanan.

Berikut ini merupakan data material dan geometri yang digunakan dalam perencanaan pemodelan beton silinder :

Suhu Bakar	: 800 °C
Suhu Lingkungan	: 20 °C
<i>Thermal conductivity</i>	: 0,933 J/msK
<i>Specific Heat</i>	: 1100 J/kgK
Diameter	: 150 mm
Massa jenis beton	: 2400 kg/m <sup>3</sup>
Pembebanan	: <i>Thermal</i>

## C.3 Pemodelan Dengan LUSAS v.16

Dalam melakukan pemodelan beton silinder polos dengan program *LUSAS* dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

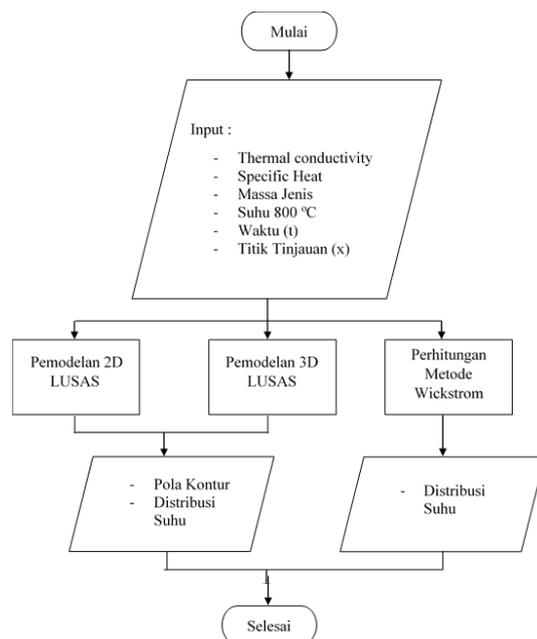
1. Membuat tipe analisis yang akan dilakukan. Tipe analisis yang digunakan adalah *thermal analysis*
2. Membuat geometri pemodelan 2D dan 3D.
3. Menginput *attributes*/perlengkapan pada model berupa meshing, jenis material, dan beban.
4. Menginput kasus pembebanan dalam dua kondisi kondisi inisial pada suhu lingkungan dan pada suhu yang ditetapkan.
5. *Controls*, untuk mengontrol proses analisis dari suatu model. Pengaturan ini bertujuan untuk memilih proses *running* sesuai dengan analisis secara non linier.

## C.4 Analisis Metode Wickstrom

Metode wickstrom ini memprediksi kenaikan suhu  $\Delta\theta_{xy}$  pada titik (x,y) didalam beton pada saat waktu terkena paparan api. Metode perhitungan sederhana yang dikemukakan oleh Wickström (1987) digunakan untuk menghitung temperatur pada pelat dinding atau lantai, balok, dan kolom yang terbakar. Metode ini tidak memperhitungkan kemungkinan hancurnya beton.

## C.5 Bagan Alir Penelitian

Pada analisis ini terdiri dari beberapa tahapan yang telah dijelaskan diatas dan untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada bagan alir penelitian dibawah ini.



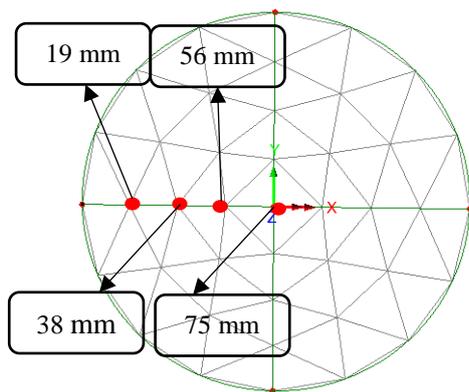
Gambar 2 Bagan Alir Penelitian

## D. Hasil dan Pembahasan

Pemodelan dan perhitungan dilakukan dengan beberapa metode yaitu dengan menggunakan pemodelan 2D, 3D, dan metode wickstrom.

Titik tinjauan dianalisis berdasarkan suhu pada durasi waktu bakar yang ditentukan bergantung pada input *mesh*/jaringan. Berikut Gambar titik

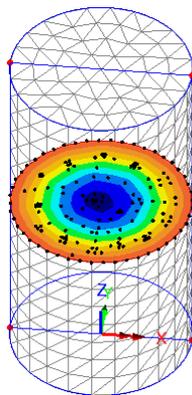
tinjauan pada empat kedalaman pada model 2D :



Gambar 3 Titik Tinjauan Hasil Analisis

### Meshing 2D

Dalam menganalisis kebutuhan model 3D dilakukan dengan membuat volume pada geometri model dan menginput data-data sama dengan data yang diinput pada model 2D. Hasil meshing volume pada pemodelan 3D dapat dilihat pada Gambar 5



Gambar 4 Pola Kontur Panas di Tengah Silinder (z = 150 mm)

Berdasarkan Gambar 4.6 potongan melintang dari volume beton silinder pada jarak z = 150 dapat dilihat bahwa pola kontur yang dihasilkan sama dengan pemodelan 2D.

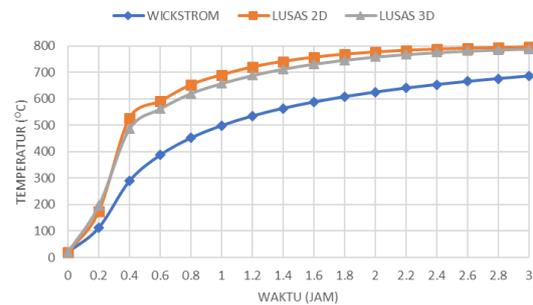
Berdasarkan perhitungan metode wickstrom didapatkan untuk kedalaman inti beton x = 75 mm dan y = 75 mm dengan durasi waktu 3 jam didapatkan :

$$\Delta\theta_{xy}=(n_w(n_x+n_y-2n_xn_y))\theta_f$$

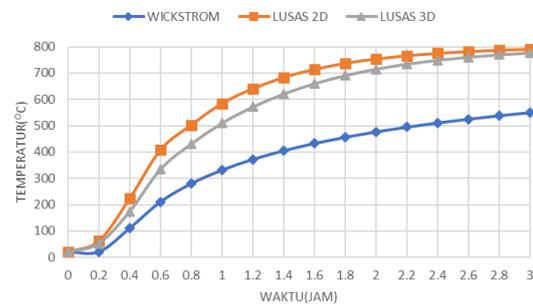
$$\Delta\theta_{xy}=(0,977(0,314+0,314-2(0,314)(0,314)))800 = 414,95 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### D.1 Perbandingan Antara Metode LUSAS v.16 dan Wickstrom

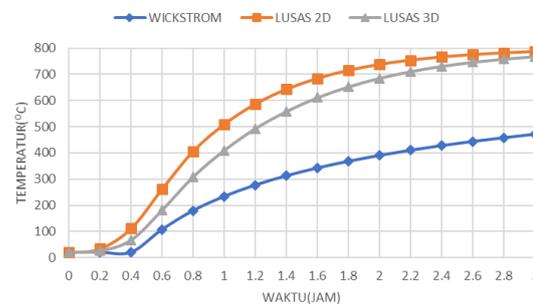
Perbandingan yang didapatkan antara penggunaan pemodelan 2D dan 3D metode elemen hingga LUSAS v.16 dan metode pendekatan numerik sederhana dengan metode Wickstrom diperlihatkan pada Gambar 5 sampai 8 berikut.



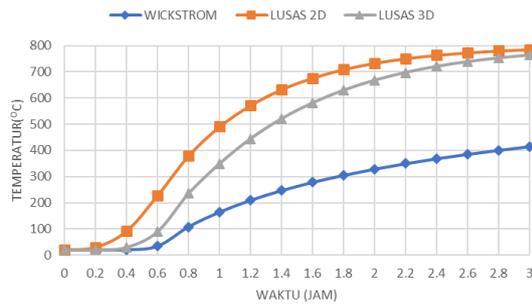
Gambar 5 Perbandingan Nilai Suhu Pada Jarak 19 mm



Gambar 6 Perbandingan Nilai Suhu Pada Jarak 38 mm



Gambar 7 Perbandingan Nilai Suhu Pada Jarak 56 mm



Gambar 8 Perbandingan Nilai Suhu Pada Jarak 75 mm

Perbandingan antara distribusi suhu menggunakan LUSAS dengan model menggunakan geometri 2D dan 3D kemudian dibandingkan pula dengan metode wickstrom, nilai distribusi suhu yang terjadi lebih besar terdapat pada pemodelan.

Berdasarkan kurva hubungan durasi bakar dan temperatur pada suatu titik yang ditinjau pada kedalaman  $x$  dari sisi permukaan beton yang terbakar antara program LUSAS dan Wickstrom, dapat disimpulkan bahwa dengan kedua metode tersebut, temperatur akan mengalami kenaikan seiring durasi waktu paparan panas yang terjadi di permukaan.

## E. Kesimpulan dan Saran

### E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian skripsi ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Berdasarkan program LUSAS, beton silinder diameter 150 mm jika diberikan beban temperatur pada permukaan luarnya sebesar  $800^{\circ}\text{C}$ , maka seluruh titik dalam silinder akan mendekati suhu pembakaran jika terpapar api selama 3 jam.
2. Hasil transfer panas yang diperoleh dari program LUSAS menunjukkan nilai yang lebih tinggi dari perhitungan manual metode Wickstrom. Perbedaan suhu hasil analisis LUSAS 2D dengan Wickstrom pada jarak 19 mm sebesar 15,96%, jarak 38 mm sebesar 43,57%, jarak 56 mm sebesar 66,95%, dan pada

jarak 75 mm sebesar 89,33%. Hasil peningkatan suhu rata-rata yang diperoleh antara pemodelan 2D dan 3D dan program LUSAS sebesar 2,05% dimana hasil peningkatan 2D sedikit lebih besar dari 3D.

3. Perbandingan hasil yang diperoleh antara program LUSAS dan Wickstrom menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda sehingga kedua metode tersebut dapat digunakan sebagai referensi nilai kenaikan temperatur pada titik yang ditinjau pada kedalaman tertentu didalam model beton silinder.

### E.2 Saran

Saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk penggunaan LUSAS v.16 untuk menganalisis beban thermal pada transfer panas hendaknya digunakan secara cermat dan teliti. Untuk perhitungan manual sebaiknya dilakukan studi lainnya agar dapat dijadikan sebagai pembanding dengan perhitungan manual yang telah dilakukan, begitu juga dengan penggunaan LUSAS yang juga dapat digunakan sebagai bahan pembanding.
2. Durasi kebakaran dapat ditingkatkan lagi untuk mengetahui batas kegagalan elemen struktur, dan standar variasi suhu yang digunakan dapat dibedakan sebagai pembanding tingkat akurasi hasil penelitian.

### Daftar Pustaka

- European Union, T. (2004). Eurocode 2: Design of Concrete Structures - Part 1-2: General Rules - Structural Fire Design. *Design of Concrete Structures - Part 1-2: General Rules-Structural Fire Design*, 2(2004), 1–99.
- Hasan, A. (2013). Perancangan Dan Pembuatan Dapur Peleburan Logam Dengan Menggunakan Bahan Bakar Gas (LPG). *ISSN 2301-8224*

- Intansari, Wi. R. O. (2012). Pemanfaatan Program Bantu Analisis Struktur LUSAS untuk Mengevaluasi Ketahanan Api Elemen Struktur Beton Bertulang pada Contoh Kasus ACI 216R-89, 1–26.
- P. Faizal, (2015). *Evaluasi Kondisi Eksisting Struktur Ruko Pasar Sentral*. Makkasar
- Purkiss, J., & Li, L. (2013). *Fire Safety Engineering Design of Structures*.
- Wickström, U. (1987). *A Very Simple Method for Estimating Temperature in Fire Exposed Concrete Structures*.